МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Затверджено

На засіданні кафедри теоретичної фізики імені
професора Івана Вакарчука
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2023 р.)

Завідувач кафедри Володимир ТКАЧУК

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантовомеханічні аспекти астрофізики», що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика» ОНП «Експериментальна фізика» другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2023

Назва дисципліни	Квантовомеханічні аспекти астрофізики
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань — 10 Природничі науки. Спеціальність —104 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н, ст. досл. Кузьмак Андрій Романович
Контактна інформація викладача	andrij.kuzmak@lnu.edu.ua
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Zoom, Microsoft Teams.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/kvantovo-mekhanichni-aspekty-astrofizyky-104-fizyka-ta-astronomiia
Інформація про дисципліну	Курс «Квантовомеханічні аспекти астрофізики» є вибірковою навчальною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія». Його викладають студентам ОНП «Теоретична фізика та астрофізика» та ОНП «Експериментальна фізика» у II семестрі магістратури обсягом 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів із квантовими ефектами, які лежать в основі явищ в астрофізиці і поведінки астрофізичних об’єктів.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Квантовомеханічні аспекти астрофізики» є ознайомлення студентів із квантовомеханічним описом фізичних процесів, які відбуваються в астрофізичних об’єктах, таких як зорі, білі карлики, нейтронні зорі, чорні діри, тощо.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. І. О. Вакарчук. *Теорія зоряних спектрів*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2002. 2. J. J. Eldridge, Ch. A. Tout. *The Structure and Evolution of Stars*. 1st edn. World Scientific Publishing Europe Ltd, 2019. **Допоміжна:** 1. І. О. Вакарчук. *Квантова механіка*. 4-е вид. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. **Інформаційні ресурси:** 1. Wikipedia. http://www.wikipedia.org
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 58 години самостійної роботи. Тижневе навантаження складає 2 годин аудиторних занять та 3,6 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК): *Загальні компетентності:* **ЗК02.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. **ЗК03.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

	ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. *Спеціальні компетентності:* **СК01.** Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ. **СК05.** Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях. *Програмні результати навчання* (РН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу: **РН01.** Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем. **РН02.** Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень. **РН06.** Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії. **РН09.** Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напряму фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись з колегами. **РН11.** Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.
Ключові слова	Спектр випромінення зорі, потік випромінення, інтенсивність випромінення, температура атмосфери зорі, ширина спектральної лінії, радіолінія надтонкої структури атома водню (лінія 21 см), термоядерний синтез, іонізація елементів в атмосфері зір, реліктове випромінення, рекомбінація, вироджений фермі-газ.
Формат курсу	Очний
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці 2-го семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують ґрунтовних знань із дисциплін загальної фізики та вищої математики. Насамперед з квантової механіки, астрофізики, електродинаміки, статистичної фізики, математичного аналізу, диференціальних рівнянь.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками.

Необхідне обладнання	Дошка і крейда, персональний комп'ютер, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: • робота на лабораторних заняттях під час семестру: 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40 відповідно до такої шкали: 36–40 — активна участь у 7–8 заняттях; 28–35 — активна участь у 5–6 заняттях; 20–27 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–19 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях; • підсумкове тестування за двома змістовими модулями (по 30 балів): 60% сумарної оцінки; кожен тест містить по 10 завдань, кожне завдання оцінюється в 3 бали: 3 — правильна відповідь на завдання у тесті; 0 — неправильна відповідь на завдання у тесті; максимальна кількість балів — 60. Підсумкова максимальна кількість балів — 100. **Письмові роботи:** Очікується, що студенти виконають декілька видів письмових робіт (тестування). **Академічна доброчесність:** Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом. **Література.** Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. **Політика виставлення балів**. Враховуються бали, набрані на лабораторних заняттях і поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студентів під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Підсумковий іспит відбувається у відкритій формі з вільним доступом до будь-яких джерел інформації під час письмової частини. **Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.**
Питання на підсумкові тестування	1. Теорія рівномірного випромінювання. 2. Кінетика фотонів. Формула Планка. 3. Перенос випромінювання при розсіяні. Коефіцієнт теплопровідності.

	4. Квантова теорія ширини спектральних ліній. 5. Природа лінії атома водню довжиною 21 см. 6. Дослідження структури галактик і міжгалактичного простору на основі лінії 21 см. 7. Дослідження магнітних полів у всесвіті на основі аналізу лінії 21 см. 8. Вплив ефекту Доплера на спектр випромінювання. 9. Природа реліктового випромінювання. 10. Рекомбінація. 11. Електромагнітний вакуум. 12. Термоядерні процеси в ядрах зір. 13. Походження хімічних елементів. 14. Сонячні нейтрино. 15. Природа білих карликів і нейтронних зір. 16. Випромінення Хокінга. 17. Формула Саха.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантовомеханічні аспекти астрофізики»*

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	Змістовний модуль 1		
1–2	Процеси в зоряних атмосферах за участю фотонів. Теорія рівномірного випромінювання. Кінетика фотонів. Формула Планка. **Література:** Б1, Д1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
3–4	Поведінка густини і температури біля поверхні зорі. Потік, інтенсивність випромінення. **Література:** Б1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
5–6	Лінія надтонкої структури атома водню (лінія 21 см). Дослідження розподілу речовини в галактиці і міжгалактичному просторі. **Література:** Б1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
7–8	Дослідження магнітних полів у всесвіті на основі аналізу лінії 21 см. Вплив ефекту Доплера на спектр випромінювання. **Література:** Б1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
	Змістовний модуль 2		
9–10	Реліктове випромінення. Рекомбінація. Електромагнітний вакуум. **Література:** Б1	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижні
11–12	Випромінення чорних дір. **Література:** Б2	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні
13–14	Властивості ядерних реакцій. Термоядерні реакції в ядрах зір. Поява хімічних елементів. **Література:** Б2	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 5 год	2 тижні

* Поклики на літературу подано відповідно до переліку базової (Б) та допоміжної (Д) літератури.

Тижні	Тема занять (перелік питань)*	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
15–16	Природа білих карликів і нейтронних зір. **Література:** Б2	Лекції — 2 год, лаб. заняття — 2 год самостійна робота — 8 год	2 тижні